

HYÖNTEISPÖLYTYKSEN VAIKUTUS RYPSIN SATOON

ILSE SAHLBERG

..

HELSINGIN YLIOPISTO
YMPÄRISTÖTIEDEIDEN LAITOS
YMPÄRISTÖEKOLOGIA
PRO GRADU -TUTKIELMA
TOUKOKUU 2020

Tiedekunta - Fakultet – Faculty Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta		
Tekijä - Författare – Author Ilse Sahlberg		
Työn nimi - Arbetets titel –Title Hyönteispölytyksen vaikutus rypsin satoon		
Oppiaine - Läroämne - Subject Ympäristöekologia		
Työn laji/ Ohjaaja - Arbetets art/Handledare - Level/Instructor Pro gradu -tutkielma	Aika - Datum - Month and year Toukokuu 2020	Sivumäärä - Sidoantal - Number of pages 29
<p>Tiivistelmä - Referat – Abstract</p> <p>Viljelykasvit, pölyttäjälajit sekä maatalouden harjoittamisen edellytykset pohjoisilla viljelyalueilla poikkeavat useimmista muista maista, eikä hyönteispölytyksen merkitystä viljelykasveille ole tutkittu esimerkiksi Suomessa kovin paljon. Rypsi (<i>Brassica rapa</i> subsp. <i>oleifera</i>) on Suomessa laajalti viljelty öljykasvi, jonka on todettu hyötyvän hyönteispölytyksestä. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, eroaako sato rypsikasviyksilöillä, joilla hyönteispölytys on vapaa tai estetty, ja kuinka pölyttäjälajisto ja kukkakäyntien määrä vaikuttavat rypsin satoon.</p> <p>Tutkimus tehtiin kesällä 2017 Uudellamaalla sijaitsevilla peltolohkoilla. Rypsipelloilla seurattiin eri pölyttäjälajeja ja niiden tekemiä käyntejä rypsin kukissa kolme kertaa kukinnan aikana. Hyönteispölytyksen estämiseksi rypsejä peitettiin harsokangaspusseilla ennen kukinnan alkua niin, että yhteen pussiin tuli kaksi kasvia. Tämä mahdollisti ristipölytyksen pussin sisällä. Myöhemmin haettiin satonäytteet avoimesti pölyttäneistä ja pussitetuista kasveista, joista mitattiin erilaisia satomuuttujia.</p> <p>Pölyttäjien kukkakäyntien kokonaismäärä oli yhteydessä kasvin versojen ja siementen määrään: pölyttäjien vierailut kukissa vähensivät versojen määrää kasvissa ja lisäsivät litukohtaista siementen määrää. Eri pölyttäjäryhmistä tarhamehiläisten ja kukkakärpästen kukkakäynnit selittivät rypsin satoa tilastollisesti merkitsevästi. Avoimesti pölyttäneet rypsikasvit sisälsivät vähemmän versoja, enemmän lituja versoa kohti sekä enemmän siemeniä litua kohti kuin pussitetut kasvit. Lisäksi siementen kokonaispaino oli suurempi avoimesti pölyttäneillä kasveilla.</p> <p>Tutkimuksessa havaittiin, että pölyttäjäryhmät eroavat toisistaan pölytysvaikutuksen suhteen. Lajiston monimuotoisuuden vaikutus pölytykseen jäi kuitenkin epävarmaksi. Useat aiemmat tutkimukset osoittavat, että tarhamehiläisten kukkakäynnit eivät tietyn rajan jälkeen auta kasvattamaan satoa. Optimaaliseen pölytykseen tarvitaan siis myös muita pölyttäjiä. Jatkossa on tärkeää tutkia pitkäaikaisten tutkimusten avulla tarkemmin erityisesti luonnonvaraisten pölyttäjien merkitystä viljelykasvien pölytyksessä pohjoisen viljelyalueilla sekä eri pölyttäjäryhmien pölytystehokkuutta.</p>		
Avainsanat – Nyckelord Pölyttäjät, pölytyspalvelu, <i>Brassica rapa</i> subsp. <i>oleifera</i> , satomuuttujat, rypsin viljely Suomessa		
Säilytyspaikka - Förvaringsställe - Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto, Viikki		
Muita tietoja - Övriga uppgifter - Additional information Työtä ohjasivat professori Irina Herzon ja dosentti Marjaana Toivonen		

Tiedekunta - Fakultet – Faculty Faculty of Biological and Environmental Sciences		
Tekijä - Författare – Author Ilse Sahlberg		
Työn nimi - Arbetets titel – Title The effect of insect pollination on turnip rape yield		
Oppiaine - Läroämne – Subject Environmental ecology		
Työn laji/ Ohjaaja - Arbetets art/Handledare - Level/Instructor Master's thesis	Aika - Datum - Month and year May 2020	Sivumäärä - Sidoantal - Number of pages 29
<p>Tiivistelmä - Referat – Abstract</p> <p>The crops, pollinator species and the agricultural conditions in the Northern agricultural district differ from those in most other areas. For example, in Finland the importance of insect pollination hasn't been researched very broadly. The oil plant widely cultivated in Finland, turnip rape (<i>Brassica rapa</i> subsp. <i>Oleifera</i>) has been discovered to benefit from insect pollination. The aim of this study is to examine whether the yield is different with turnip rapes where insect pollination is free or prevented, and how pollinator species and the number of flower visits affect the turnip rape yield.</p> <p>The study was mainly conducted in July 2017 on field parcels in Uusimaa. In the turnip rape fields, different pollinators and their visits in turnip rape flowers were monitored. To prevent insect pollination, the turnip rapes were covered with gauze bags before flowering began so that several plants came into one bag. This allowed cross-pollination.</p> <p>The total number of flower visits by pollinators was linked to the number of racemes and seeds of the plant: insect pollination decreased the number of racemes and increased the number of seeds per plant. The honeybees and hoverflies were a major group of pollinators explaining the turnip rape yield. Openly pollinated turnip rapes contained fewer racemes and more siliques and seeds per silique than enclosed plants. In addition, the weight of the seeds was higher</p> <p>In this study, it was discovered that there are differences between diverse pollinator species groups when it comes to pollination efficiency. It is still not clear how exactly the diversity of pollinator species affects pollination. Several studies show that after a certain threshold, flower visits by honey bees no more have an increasing effect on crop yields. Thus, other pollinators are also needed for optimal pollination. This study especially highlighted the significance of wild pollinators in pollinating crop plants. There seems to be demand for long-term monitoring of the pollination efficiency of different pollinator groups in the northern agricultural region</p>		
<p>Keywords</p> <p>Pollinators, pollination service, <i>Brassica rapa</i> subsp. <i>oleifera</i>, crop variables, turnip rape cultivation in Finland</p>		
<p>Säilytyspaikka - Förvaringsställe - Where deposited</p> <p>Helsinki University Library, Viikki</p>		
<p>Muita tietoja - Övriga uppgifter - Additional information</p> <p>Supervisors were professor Irina Herzon and docent Marjaana Toivonen</p>		

Sisälllys

1. Johdanto	2
1.1. Pölyttäjät	3
1.2. Pölyttäjien vähenemisen syyt.....	4
1.3. Pölyttäjien ja pölytyksen vähenemisen seuraukset	6
1.4. Rypsin viljely Suomessa.....	6
1.5. Keinoja pölyttäjien ja pölytyspalvelun turvaamiseksi	7
1.6. Tutkimuksen tavoitteet	8
2. Aineisto ja menetelmät.....	9
2.1 Peltokoe	9
2.1.1. Pölyttäjien tarkkailu rypsilä.....	10
2.1.2. Rypsin pussitus hyönteispölytyksen estämiseksi.....	10
2.1.3. Satonäytteiden otto ja käsittely	11
2.2 Tilastolliset menetelmät.....	11
3. Tulokset.....	12
3.1. Pölyttäjien kukkakäyntien määrän ja lajirikkauden vaikutus rypsin satoo. 12	
3.2. Hyönteispölytyksen estämisen vaikutus rypsin satoon.....	15
4. Tulosten tarkastelu	17
4.1. Pölyttäjäyhteisön ominaisuuksien vaikutus hyönteispölytykseen.....	17
4.2. Muita hyönteispölytykseen vaikuttavia tekijöitä.....	20
4.3. Avoimen ja estetyn pölytyksen välisiä eroja.....	21
4.4. Tutkimuksen merkitys ja epävarmuustekijät	22
4.5. Jatkotutkimuksia.....	23
5. Johtopäätökset.....	24
6. Kiitokset	24
Lähteet.....	25

1. Johdanto

Pölytyksen avulla ylläpidetään ja suojellaan biodiversiteettiä ja siten elämää maapallolla. Se onkin yksi tärkeimmistä ekosysteemipalveluista. Maailmanlaajuisesti ravinnoksi tarkoitetuista viljelykasveista peräti 75 % on ainakin osittain riippuvaisia hyönteispölytyksestä (Klein ym. 2007, Garibaldi ym. 2009). Hyönteispölytyksestä riippuvaisten kasvien viljely on viimeisten 50 vuoden aikana lisääntynyt, mikä lisää maatalouden riippuvuutta pölytyksestä (Aizen ym. 2019). Ihmiskunta on ravinnontuotannon suhteen riippuvainen pölytyksestä, ja väestön määrän lisääntyessä myös ravinnontarve kasvaa jatkuvasti. Ympäristön tilan heikentyminen ja pölyttävien hyönteisten määrän väheneminen tulee todennäköisesti johtamaan merkittäviin ravinnontuotannon haasteisiin.

Pölyttäjien määrään vaikuttavat erityisesti maankäytön intensiivisyys, maiseman rakenne ja elinympäristöjen monimuotoisuus (Hendrickx ym. 2007, Potts ym. 2016). Torjunta-aineiden käytön lisääntyminen voimistaa hyönteiskatoa myös luonnontilaisilla alueilla (Goulson ym. 2015, Hokkanen ym. 2018).

Pölyttävien hyönteisten väheneminen uhkaa sekä luonnon monimuotoisuutta että viljelykasvien satoja myös Suomessa. Huolta puutteellisesta pölytyksestä on herättänyt esimerkiksi se, että hyönteispölytyksestä riippuvaisen rypsin sadot ovat viime vuosina pienentyneet (Hokkanen ym. 2018). Rypsin sadon väheneminen näyttää olevan yhteydessä viljelmien ympäristön yksipuolisuuteen sekä runsaaseen neonikotinoidien käyttöön. Sadon määrää voisi kasvattaa viljelyalueen monimuotoisuutta lisäämällä, torjunta-aineiden käyttöä rajoittamalla sekä huolehtimalla tarhamehiläisyhdyskuntien riittävästä määrästä suhteessa viljelyalueen kokoon (Hokkanen ym. 2017).

Maatalousympäristön pölyttäjätutkimus on pitkälti keskittynyt siihen, kuinka viljelymenetelmät ja maankäyttö vaikuttavat pölyttäjien määrään ja monimuotoisuuteen. Suoraan pölytystä mittaavia tutkimuksia on tehty

huomattavasti vähemmän (Toivonen ym. 2019). Kotimainen tutkimus on tärkeää, sillä meillä viljelykasvit, pölyttäjälajit sekä maatalouden harjoittamisen edellytykset poikkeavat useimmista muista maista. Olisi syytä tutkia, kuinka paljon ja minkälaisia pölyttäjiä tarvitaan, jotta eri viljelykasvien sadot säilyisivät ennallaan tai kasvaisivat turvaamaan kasvavan ihmiskunnan ravinnonsaannin.

1.1. Pölyttäjät

Hyönteiset, linnut ja lepakot ovat maailmanlaajuisesti merkittäviä pölyttäjäryhmiä. Näistä hyönteisten merkitys on selvästi suurin. Pölytyksen kannalta tärkeimpiä hyönteisryhmiä ovat pistiäiset (Hymenoptera) sekä kaksisiipiset (Diptera) (Kevan & Baker 1983.) Pistiäisistä merkittävimmät pölyttäjät ovat mesipistiäisiä (Apoidea) (Kevan & Baker 1983). Ryhmään kuuluvista lajeista osa on tarhattuja, kuten tarha- eli kesymehiläinen (*Apis mellifera*), mutta suurin osa elää luonnonvaraisena (IPBES 2016). Mehiläisten lisäksi kimalaiset (*Bombus* sp.) ovat tärkeitä pölyttäjiä (Thakur 2012). Kaksisiipisistä tärkeimpiä pölyttäjiä ovat kukkakärpäset (Syrphidae), kimalaiskärpäset (Bombyliidae) (Larson ym. 2001) sekä erityisesti pohjoisilla leveysasteilla laajalle levinneet sukaskärpäset (Muscidae) (Elberling & Olesen 1999). Viljelykasvien tärkeimpänä pölyttäjäryhmänä pidetään mesipistiäisiä, mutta suuri merkitys on myös muilla pistiäisillä, kaksisiipisillä, kovakuoriaisilla, muurahaisilla ja perhosilla (Rader ym. 2016, Bartomeus & Dicks 2019).

Vaikka tiedetään, että pölytys on tärkeää viljelyn kannalta, monen viljelykasvin pölytykseen liittyy epäselvyyksiä esimerkiksi sen suhteen, miten pölyttävien lajien kirjo, yksilömäärä tai eliöyhteisön koostumus edistää sadon määrää ja laatua (Potts ym. 2010). Luonnonvaraisten pölyttäjien merkitys on kuitenkin ilmeinen (Goulson ym. 2015, Rader ym. 2016). Luonnonvaraisten pölyttäjien kukkakäynnit johtavat hedelmien muodostumiseen useammin kuin tarhamehiläisten kukkakäynnit, joten on mahdollista, että tarhamehiläiset lähinnä täydentävät luonnonvaraisten hyönteisten tekemää pölytystä sen sijaan, että korvaisivat sen (Garibaldi ym. 2013).

1.2. Pölyttäjien vähenemisen syyt

Mehiläiset ja kimalaiset ovat pölyttäjärhymistä laajimmin tutkitut, ja näissä molemmissa on havaittu sekä luonnonvaraisten että tarhattujen lajien vähentymistä (Potts ym. 2010). Mesipistiäisten lisäksi myös muiden hyönteisten määrät ovat pienentyneet. Esimerkiksi Euroopan ruohikkoalueiden perhosten määrän arvioidaan pudonneen n. 50 prosenttia vuosina 1990–2011 (van Swaay ym. 2013). Saksassa lentävien hyönteisten keskikesän aikainen kokonaisbiomassa laski peräti 82 prosenttia 27 tutkimusvuoden aikana (Hallmann ym. 2017). Suomessakin on havaittu pölyttäjälajien yksipuolistumista (Hokkanen ym. 2018).

Maankäyttö on suurimpia hyönteisten vähenemiseen vaikuttavia tekijöitä (Potts ym. 2010). Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa kimalaisten määrän taantuminen viimeisten vuosikymmenien aikana johtuu pääasiassa sopivien elinympäristöjen katoamisesta sekä tehomaatalouden lisääntymisestä (Goulson ym. 2008). Voimakas elinympäristöjen katoaminen laskee myös luonnonvaraisten mehiläisten määrää ja harventaa niiden lajistoa, mutta kasvatettujen ja luonnonvaraisten tarhamehiläisten määrään häiriöt vaikuttavat vähemmän. Yhdyskuntamehiläiset näyttävät olevan muutoksille herkempiä kuin erakkomehiläiset. (Winfrey ym. 2009)

Elinympäristöjen katoamisen ja heikentymisen vuoksi kukkakasvien sekä pölyttäjille sopivien pesäpaikkojen määrä on vähentynyt, mikä selittää suurimman osan pölyttäjien määrän vähenemisestä (Potts ym. 2010, Goulson ym. 2015, Kovács-Hostyánszki ym. 2017). Sopivien pesäpaikkojen puute on ongelma etenkin kimalaisyhdyskunnille, mutta Euroopassa kimalaisten taantuminen johtuu osittain myös kukkakasvien määrän vähenemisestä (Goulson ym. 2008). Kimalaisyhdyskunnan ravinnonhankintamatkojen pituus riippuu ravintokasvien lajikoostumuksesta ja sijainnista yhdyskunnan lähellä (Redhead ym. 2016). Toisaalta hyönteispölytteiset kasvilajit voivat myös taantua, mikäli pölyttäjien lajikirjo vähenee (Biesmeijer ym. 2006). Jo yhden pölyttäjälajin poistuminen alueelta heikentää kasvien lisääntymistä, vaikka alueella olisi muita pölyttäjiä

(Brosi & Briggs 2013). Vieraskasvilajien vaikutusta kotoperäisten kasvien pölytykseen on tutkittu. Sen sijaan vieraskasvien suoraa vaikutusta kotoperäisiin mehiläisiin on tutkittu vähän. (Stout & Morales 2009) Kasvien ja pölyttäjien vuorovaikutus näyttää riippuvan mm. kasvitaksonista ja mehiläisten toiminnan erityispiirteistä. Vieraiden yhdyskuntamehiläisten vaikutus kotoperäisiin mehiläisiin puolestaan näyttäisi olevan vahvasti negatiivista vaikkakin lajispesifistä. (Stout & Morales 2009)

Torjunta-aineita käytetään viljelykasvien suojaamiseen rikkakasveilta, kasvitaudeilta ja tuhohyönteisiltä. Yleisimpiä hyönteisten torjunta-aineita ovat neonikotinoidit, joita käytetään etenkin siementen peittaukseen (Godfray ym. 2015). Niitä siirtyy meteen ja siitepölyyn ja näistä edelleen pölyttäviin hyönteisiin (Godfray ym. 2015). Neonikotinoidien jäämiä on löytynyt myös mehiläispesistä, jonne ne ovat siirtyneet meden ja siitepölyn mukana (Ketola ym. 2015). Niiden on havaittu vaikuttavan mehiläisten ravinnonhankintakäyttäytymiseen ja johtavan yhdyskuntien kasvun heikkenemiseen (Arce ym. 2017). Neonikotinoidit heikentävät myös kimalaisten ja erakkomehiläisten lisääntymistä ja sitä kautta myös niiden tekemää pölytystä (Rundlöf ym. 2015). Esimerkiksi Suomessa neonikotinoidien käyttö on saattanut vähentää rypsisatoja (Hokkanen ym. 2017).

Pölyttäjien loiset ja erilaiset taudinaiheuttajat ovat levinneet ihmisten mukana eri puolille maapalloa (Stout & Morales 2009; Goulson ym. 2015). Esimerkiksi Euroopasta peräisin oleva tahattomasti Pohjois-Amerikkaan levinnyt loinen on osaltaan syynä sikäläisten kimalaiskantojen romahtamiseen (Goulson ym. 2008).

Lähisukulaisuus ja sisäsiittoisuus kasvattavat mesipistiäispopulaatioiden romahdusvaaraa (Goulson ym. 2008). Risteytyminen lähilajin kanssa vaikuttaa mehiläispopulaatioihin (Stout & Morales 2009), ja ilmaston lämpeneminen luo tulevaisuudessa lisää haasteita (Memmott ym. 2007, Goulson ym. 2015, Körösi ym. 2018) esimerkiksi häiritsemällä eliöiden välisiä mutualistisia suhteita (Hegland ym. 2009).

1.3. Pölyttäjien ja pölytyksen vähenemisen seuraukset

Pölytyksen heikkeneminen vaikeuttaa ravitsemuksellisesti riittävän laadukkaan ravinnon tuotantoa ja vaikuttaa koko ihmiskuntaan (Eilers ym. 2011). Pölyttäjäkadon seurauksena etenkin vihannesten sekä hedelmä- ja marjakasvien sadot vähenevät, mikä heikentää etenkin A- ja C-vitamiinien ja hivenaineiden sekä sitä kautta antioksidanttien määrää ravinnossa (Hokkanen ym. 2018). Monet hyönteispölytyksestä riippuvaiset viljelykasvit sisältävät myös runsaasti kalsiumia, fluoridia ja muita mineraaleja (Eilers ym. 2011, Chaplin-Kramer ym. 2014). Pölyttäjien määrän väheneminen lisää myös satovaihteluja ja ruoan hävikkiä (Hokkanen ym. 2018).

Edellä mainittujen seikkojen lisäksi pölyttäjien määrän väheneminen aiheuttaa suuria taloudellisia tappioita. Monissa tutkimuksissa on yritetty arvioida pölytysvajeen rahallista merkitystä (Gallai ym. 2009, Lautenbach ym. 2012). Satojen pientyminen vaikuttaa kuluttajiin hintojen nousun ja tuottajiin vähentyneen voiton muodossa (IPBES 2016). Pölyttäjien taloudellinen merkitys on varsinaisista ravintokasveista vihannesten ja hedelmien kohdalla suurin, ja näin ollen pölyttävävaje aiheuttaa näiden ravintokasviryhmien kohdalla suurimmat taloudelliset tappiot (Gallai ym. 2009). Kun ravinnon lisäksi huomioon otetaan myös muut kasveista saatavat hyödykkeet, esimerkiksi lääkeaineet, kumi, rakennusmateriaali tai biopolttoaineet, pölytyksen taloudellinen merkitys kasvaa edelleen (IPBES 2016). Maatalouden kokonaistuotannon oletetaan vähentyvän 3–8 % ilman hyönteispölytystä, mikä johtanee viljelypinta-alan kasvattamiseen satomäärän pientymisen kompensoimiseksi (Aizen ym. 2009, Garibaldi ym. 2011).

1.4. Rypsin viljely Suomessa

Rypsi (*Brassica rapa* ssp. *oleifera* L.) on yksivuotinen öljykasvi (Hämet-Ahti ym. 1986), jota kasvatetaan Pohjois-Euroopassa ja Kanadassa (Korpela 1988).

Rypsilajikkeet tuottavat paremman sadon risti- kuin itsepölytyksessä (Williams 1978). Rypsi hyötyy hyönteispölytyksestä, mutta pölyttyy myös tuulen avulla (Varis 1995). Pääasiallisia pölyttäjiä ovat mehiläiset ja kaksisiipiset (Brunel ym. 1994).

Vuonna 2019 rypsiä viljeltiin Suomessa vajaalla 18 000 hehtaarilla (Luonnonvarakeskus 2019). Viljelyala on pienentynyt viime vuosina (Luonnonvarakeskus 2019). Pinta-alakohtainen rypsisato on kasvanut Suomessa vuodesta 1980 vuoteen 1993, jonka jälkeen sadon määrä on ollut laskusuunnassa. Rypsin sadot ovat viimeisten 15 vuoden aikana pienentyneet erityisesti Suomen intensiivisimmin viljellyillä alueilla, kuten Varsinais-Suomessa, siten että nykyään sadonalennuksen määrä on noin kolmasosa koko sadosta. (Hokkanen ym. 2017) Tämä saattaa kertoa puutteellisesta pölytyksestä. Toisaalta monessa muussa maakunnassa rypsin satomäärä on pysynyt vähintään ennallaan (Hokkanen ym. 2017). Näillä alueilla pölyttäjähönteisten määrä ei ehkä ole vähentynyt yhtä voimakkaasti kuin Varsinais-Suomessa.

1.5. Keinoja pölyttäjien ja pölytyspalvelun turvaamiseksi

Tutkijat ovat ehdottaneet toimenpiteitä, joiden avulla voidaan siirtyä ekologiseen tehostamiseen pölytyspalveluiden turvaamiseksi (IPBES 2016) ja vähentää eri tekijöistä johtuvia pölyttäjiin kohdistuvia negatiivisia ympäristövaikutuksia (Bommarco ym. 2013). Pölyttäjien ja pölytyksen pitkäaikaista seurantaa tulee kehittää (Dicks ym. 2016) ja huomioon tulee ottaa myös muiden hyönteisten kuin mesipistiäisten merkitys pölytykselle (Rader ym. 2016).

Torjunta-aineiden käytöstä tulee siirtyä biologiseen torjuntaan sekä viljelymenetelmiä ja -ympäristöjä monipuolistaa (Kovács-Hostyánszki ym. 2017). Luonnonmukaisesti viljellyillä pelloilla on enemmän mehiläisiä kuin tavanomaisesti viljellyillä (Holzschuh ym. 2008; Kennedy ym. 2013), mikä puoltaa luonnonmukaisen tuotantotavan lisäämistä. Hyönteispölytyksestä riippuvaisia

kasveja kasvaa enemmän luonnonmukaisesti viljellyillä pelloilla ja tuulipölytteisiä kasveja tavanomaisesti viljellyillä pelloilla (Gabriel & Tschardt 2007). Luonnonmukaisesti viljeltyjen alueiden sisällyttäminen perinteisesti viljeltyjen alueiden joukkoon tarjoaakin pölyttäjille enemmän ravinnonlähteitä (Holzschuh ym. 2008). Myös kesantoalueet ja monimuotoiset luonnontilaiset elinympäristöt lisäävät pölyttäjien määrää (Holzschuh ym. 2008, Kennedy ym. 2013, Jönsson ym. 2015). Esimerkiksi metsien ja peltojen reuna-alueilla esiintyy enemmän pölyttäjiä kuin metsissä ja metsäaukeilla (Svensson ym. 2000). Monipuolinen ympäristö lisää erilaisten pölyttäjälajien määrää myös rypsipelloilla (Toivonen ym. 2019).

1.6. Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää hyönteispölytyksen merkitystä rypsin (*Brassica rapa* ssp. *oleifera*) sadolle. Rypsi on rapsin ohella Suomen tärkein öljykasvi. Sen pölytystä on tutkittu hyvin vähän, sillä sen viljely muualla maailmassa on vähäistä. Tavoitteena on vastata seuraaviin kysymyksiin:

1. Kuinka eri pölyttäjien rypsilä tekemien kukkakäyntien määrä ja pölyttäjien lajirikkaus selittävät rypsin satoa?
2. Eroaako sato kasveilla, joilla hyönteispölytys on vapaa tai estetty?

Tutkimus tarkastelee eri pölyttäjärühmien, kuten tarhamehiläisten, kimalaisten ja kukkakärpästen tekemiä kukkakäyntejä. Kukkakäyntien vaikutusta satoon tarkastellaan useiden eri satomuuttujien, kuten versojen, litujen ja siementen määrän ja painon osalta. Oletuksena on, että pölyttäjien tekemät kukkakäynnit nostavat rypsin satoa, ja että eri pölyttäjärühmien välillä on eroja satovaikutuksen suhteen. Mesipistiäisten oletetaan lisäävän selvimmin satoa, koska ne siirtävät kukkakäynnillä enemmän siitepölyä kuin muut hyönteiset (Rader ym. 2016). Toisaalta kärpäset saattavat käydä kukilla useammin kuin mehiläiset, mikä lisää niiden merkitystä (Rader ym. 2016). Tutkimuksessa oletetaan lisäksi, että rypsin

sato on parempi silloin, kun hyönteispölytys on sallittu, sillä rypsin tiedetään hyötyvän voimakkaasti ristipölytyksestä (Williams 1978).

Tutkielmani on osa Suomen ympäristökeskuksen Viljelykasvien pölytys Suomessa -hanketta (2017–2021, vastuututkija Marjaana Toivonen, rahoitus Maj ja Tor Nesslingin säätiö, Oiva Kuusisto -säätiö ja August Johannes ja Aino Tiuran maatalouden tutkimussäätiö), jonka tavoitteena on selvittää, onko viljelykasvien pölytys Suomessa riittävää, ja miten viljelymenetelmät ja maisema vaikuttavat siihen.

2. Aineisto ja menetelmät

2.1 Peltokoe

Pölyttäjien kukkakäyntejä ja niiden vaikutusta rypsin satoon seurattiin kesällä 2017 yhteensä 34 peltolohkolla, jotka sijaitsivat eri puolilla Uuttamaata. Kaikkien lohkojen välillä oli etäisyyttä vähintään yksi kilometri. Kaikilla lohkoilla viljeltiin kevätrypsiä. Rypsilajikkeet ja viljelytoimenpiteet, kuten kylvön ajankohta ja kasvinsuojeluaineiden käyttö, vaihtelivat lohkojen välillä (Taulukko 1).

Taulukko 1. Tutkittujen rypsilohkojen (n = 34) keskeiset viljelytiedot.

	Keskiarvo [min, max]
Pinta-ala (ha)	14,6 [0,8; 33,3]
Kylvöaika	21.5. [10.5, 17.6]
Kukinnan alkaminen	4.7. [26.6., 22.7.]
Mehiläispesien määrä/ha	0,36 [0,00; 2,64]
Torjunta-aineiden käyttökertojen määrä	2,5 [0, 5]
Siementen peittäus (lohkojen määrä)	29
Hyönteistorjunta-aineiden ruiskutus (lohkojen määrä)	20
Rikkakasvitorjunta-aineiden ruiskutus (lohkojen määrä)	19
Kasvitautilorjunta-aineiden ruiskutus (lohkojen määrä)	9
Rypsilajikkeet (lohkojen määrä)	Cordelia (10), Juliet (7), Petita (11), Agat (1), Apollo (1), Aurea (2), Synthia (2)

2.1.1. Pölyttäjien tarkkailu rypsillä

Pölyttäjien kukkakäyntejä rypsillä tarkkailtiin neljällä 2 x 2 metrin kokoisella seurantaruudulla. Ruudut sijoitettiin viiden metrin etäisyydelle lohkon reunasta 50 metrin päähän toisistaan ja toiset ruudut 20 metrin etäisyydelle lohkon reunasta 50 metrin päähän toisistaan. Ruudun yhteen kulmaan pystytettiin merkiksi metrin pituinen bambukeppi. Keppiä lähimpänä olevista kahdesta kasvista käytiin syksyllä hakemassa satonäytteet.

Kussakin ruudussa seurattiin pölyttäjähönteisten kukkakäyntejä rypsillä kolme kertaa kukinnan aikana viiden minuutin ajan. Havainnoinnin aikana merkittiin ylös kaikki rypsillä vierailevat pölyttäjäyksilöt ja kukkakäyntien määrä. Kimalaiset ja perhoset pyrittiin tunnistamaan lajilleen. Kukkakärpäsisistä merkittiin erikseen alaheimot Syrphinae ja Eristalinae. Erakkomehiläisten kokonaismäärä laskettiin.

Rypsin kukinta ja siten pölyttäjien seuranta tutkimuslohkoilla ajoittui pääosin heinäkuulle. Eri lohkoilla kukinta alkoi 26.6.–22.7. Laskenta tehtiin sellaisissa sääoloissa (lämpötila, auringonpaiste ja tuulisuus), joissa pölyttäjähönteiset olivat liikkeellä. Aurinkoisella tai puolipilvisellä säällä alin lämpötila laskennan aikaan oli +15 °C. Pilvisellä säällä alin lämpötila laskennan aikaan oli +17 °C. Tuulennopeus oli enimmillään 5 boforiasteikolla. Keskimääräinen tuulennopeus yksittäisillä peltolohkoilla vaihteli välillä 1.3–3.3. Laskenta suoritettiin kello 9–18 välisenä aikana.

2.1.2. Rypsin pussitus hönteispölytyksen estämiseksi

Tutkimuslohkoilla rypsejä peitettiin harsokangaspusseilla pölytyksen estämiseksi. Pussitukset tehtiin juuri ennen rypsin kukinnan alkua neljässä kohdassa lohkoa siten, että pussitukset sijaitsivat kahden metrin päässä seurantaruuduista. Rypsin pussitukset tehtiin siten, että metrin mittainen bambukeppi pystytettiin maahan ja sen päälle laitettiin 45 x 75 cm kokoinen harsokangaspussi, jolla peitettiin kahden vierekkäisen kasvin kukintohaarat. Pussi suljettiin narulla tukikepin ja

rypsinvarsien ympäriltä kukintohaarojen alapuolelta. Pussittamalla samaan pussiin useampi kuin yksi kasvi mahdollistettiin ristipölytteisen rypsin pölyttyminen myös pussin sisällä, mutta estettiin hyönteispölytys. Koska rypsin kukintohaarat kasvavat voimakkaasti kukinnan aikana, pussit tarkistettiin ja niitä säädettiin tarvittaessa useita kertoja kukinnan aikana. Kukinnan loputtua pussit poistettiin, mutta tukikepit jätettiin paikoilleen ja pussitettuna olleet kasvit merkittiin narulla, jotta ne löydettäisiin myöhemmin satonäytteiden ottoa varten.

2.1.3. Satonäytteiden otto ja käsittely

Elo-syyskuussa ennen rypsin puintia lohkoilta kerättiin merkityt kasvit ja ruutujen viereiset, vapaasti pölyttyneet kasvit. Näytekasveista laskettiin pääversot, sivuversot, litujen lukumäärä ja siementen määrä liduissa. Kasvit kuivattiin huonelämpötilassa. Kuivista kasveista puitiin käsin kaikki siemenet ja punnittiin niiden paino.

2.2 Tilastolliset menetelmät

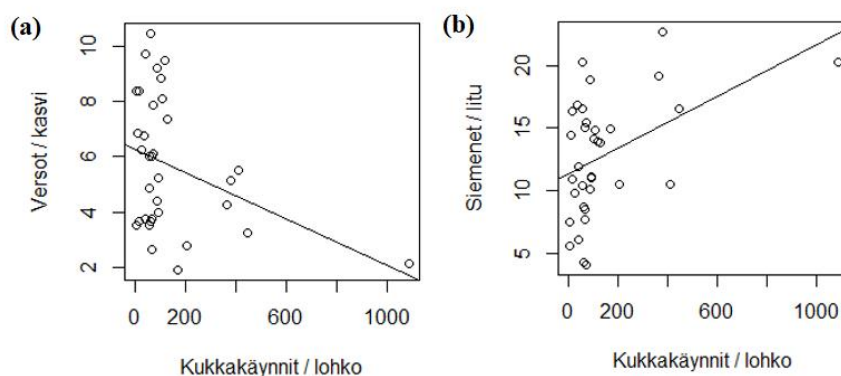
Pölyttäjien vaikutusta rypsin satoon analysoitiin kahdella menetelmällä. Lineaarisen regressioanalyysin avulla testattiin pölyttäjien lajimäärän, kukkakäyntien kokonaismäärän sekä yleisimpien pölyttäjäryhmien (tarhamehiläiset, kimalaiset, kukkakärpäset) kukkakäyntien määrän vaikutusta satoon. Mallien virhetermien normaalijakautuneisuus ja homoskedastisuus tarkistettiin diagnostisten kuvien avulla, jotka tukivat lineaaristen mallien käyttöä. Parittaisen t-testin avulla tutkittiin, erosiko sato tutkimuslohkojen sisällä avoimesti pölyttyneiden ja pussitettujen kasvien välillä. Analyysit tehtiin käyttäen seuraavia vastemuuttujia: versojen määrä per kasvi, litujen määrä per verso, siementen määrä per litu ja siemenpaino per kasvi. Analyysit tehtiin R-ohjelmalla (versio 3.5.3).

3. Tulokset

3.1. Pölyttäjien kukkakäyntien määrän ja lajirikkauden vaikutus rypsin satoon

Pölyttäjien kukkakäyntien kokonaismäärä oli yhteydessä versojen määrään kasvissa. Mitä enemmän pölyttäjät vierailivat rypsin kukissa, sitä vähemmän rypsisssä oli versoja (Kuva 1a, Taulukko 2). Pölyttäjien kukkakäyntien kokonaismäärä vaikutti myös siementen määrään rypsin liduissa. Yhteys oli päinvastainen kuin kukkakäyntien ja versojen määrän välillä: mitä enemmän pölyttäjät vierailivat rypsin kukissa, sitä enemmän lidut sisälsivät siemeniä (Kuva 1b, Taulukko 2). Kukkakäyntien määrä ei kuitenkaan selittänyt tilastollisesti merkitsevästi litujen määrää versoja kohti tai siementen painoa kasvia kohti (Taulukko 2). Kukkakäyntejä tehneiden pölyttäjien lajirikkaus ei vaikuttanut mihinkään mitattuun satomuuttuun (Taulukko 3).

Kukkakäyntien määrät olivat useimmilla lohkoilla melko matalia ja vain harvoilla lohkoilla korkeita, mikä lisää tuloksen epävarmuutta. Yhdellä loholla kukkakäyntejä oli huomattavasti enemmän kuin muilla lohkoilla (Kuvat 1a ja 1b). Havaintopiste ei kuitenkaan poikkea sikäli muusta pistejoukosta, että sen poisto vaikuttaisi regressiosuoran suuntaan.



Kuva 1. (a) Pölyttäjien kukkakäyntien vaikutus versojen määrään rypsisssä sekä (b) pölyttäjien kukkakäyntien vaikutus siementen määrään lidussa.

Taulukko 2 Lineaaristen regressioanalyysien tulokset pölyttäjien kukkakäyntien kokonaismäärän vaikutuksesta rypsin satoon.

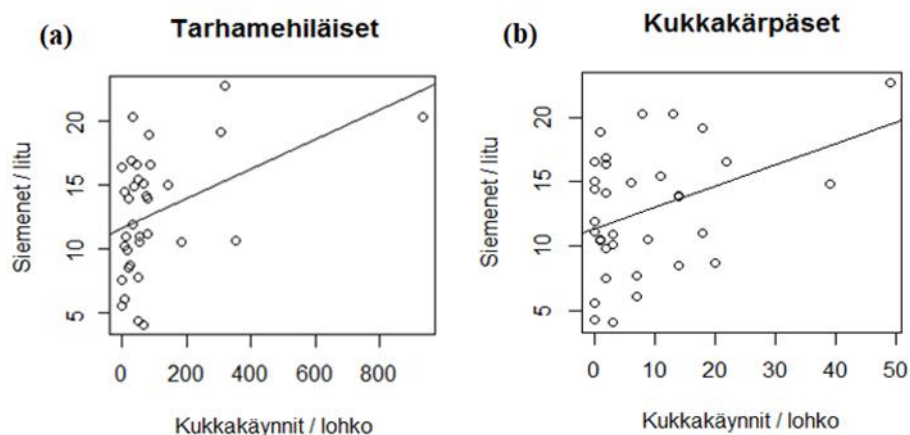
Satomuuttuja	Estimaatti	Keskivirhe	t-arvo	p-arvo	r ²
Versot/kasvi (kpl)	-0,0042	0,00196	-2,147	0,0395*	0,13
Lidut/verso (kpl)	-0,0014	0,00297	-0,85	0,631	0,007
Siemenet/litu (kpl)	0,01041	0,00371	2,806	0,00847*	0,20
Sato/kasvi (g)	-0,0008	0,00078	-1,083	0,287	0,04

*= p < 0,05

Taulukko 3. Lineaaristen regressioanalyysien tulokset pölyttäjien lajirikkauden vaikutuksesta rypsin satoon.

Satomuuttuja	Estimaatti	Keskivirhe	t-arvo	p-arvo	r ²
Versot/kasvi (kpl)	-0,3265	0,1757	-1,859	0,0723	0,10
Lidut/verso (kpl)	-0,2096	0,2604	-0,805	0,427	0,02
Siemenet/litu (kpl)	0,5857	0,3505	1,672	0,104	0,08
Sato/kasvi (g)	-0,063	0,06942	-0,907	0,371	0,03

Eri pölyttäjäryhmistä tarhamehiläisten ja kukkakärpästen tekemien kukkakäyntien määrä selitti siementen määrää rypsin liduissa (Taulukot 4–5). Tarhamehiläisten ja kukkakärpästen vierailujen lisääntyessä siementen määrä liduissa kasvoi (Kuva 2). Kimalaisilla ei havaittu tilastollisesti merkitsevää yhteyttä kukkakäyntien ja litujen siemenmäärän välillä (Taulukko 6). Minkään pölyttäjäryhmän kukkakäyntien määrä ei ollut yhteydessä muihin satomuuttujiin (versot/kasvi, lidut/verso, satopaino) (Taulukot 4–6).



Kuva 2. (a) Tarhamehiläisten ja (b) kukkakärpästen kukkakäyntien vaikutus rypsin siementen määrään liduissa.

Taulukko 4. Lineaaristen regressioanalyysien tulokset tarhamehiläisten kukkakäyntien vaikutuksesta rypsin satoon.

Satomuuttuja	Estimaatti	Keskivirhe	t-arvo	p-arvo	r^2
Versot/kasvi (kpl)	-0,0047	0,00233	-2,002	0,0538	0,11
Lidut/verso (kpl)	-0,0014	0,00351	-0,393	0,697	0,004
Siemenet/litu (kpl)	0,01156	0,00443	2,608	0,0137*	0,17
Sato/kasvi (g)	-0,0008	0,00093	-0,969	0,34	0,03

* = $p < 0,05$

Taulukko 5. Lineaaristen regressioanalyysien tulokset kukkakärpästen kukkakäyntien vaikutuksesta rypsin satoon.

Satomuuttuja	Estimaatti	Keskivirhe	t-arvo	p-arvo	r^2
Versot/kasvi (kpl)	0,00148	0,03802	0,039	0,969	4.706e-05
Lidut/verso (kpl)	-0,0181	0,05398	-0,336	0,739	0,004
Siemenet/litu (kpl)	0,16678	0,06907	2,414	0,0217*	0,15
Sato/kasvi (g)	0,01651	0,01416	1,166	0,252	0,04

*= $p < 0,05$

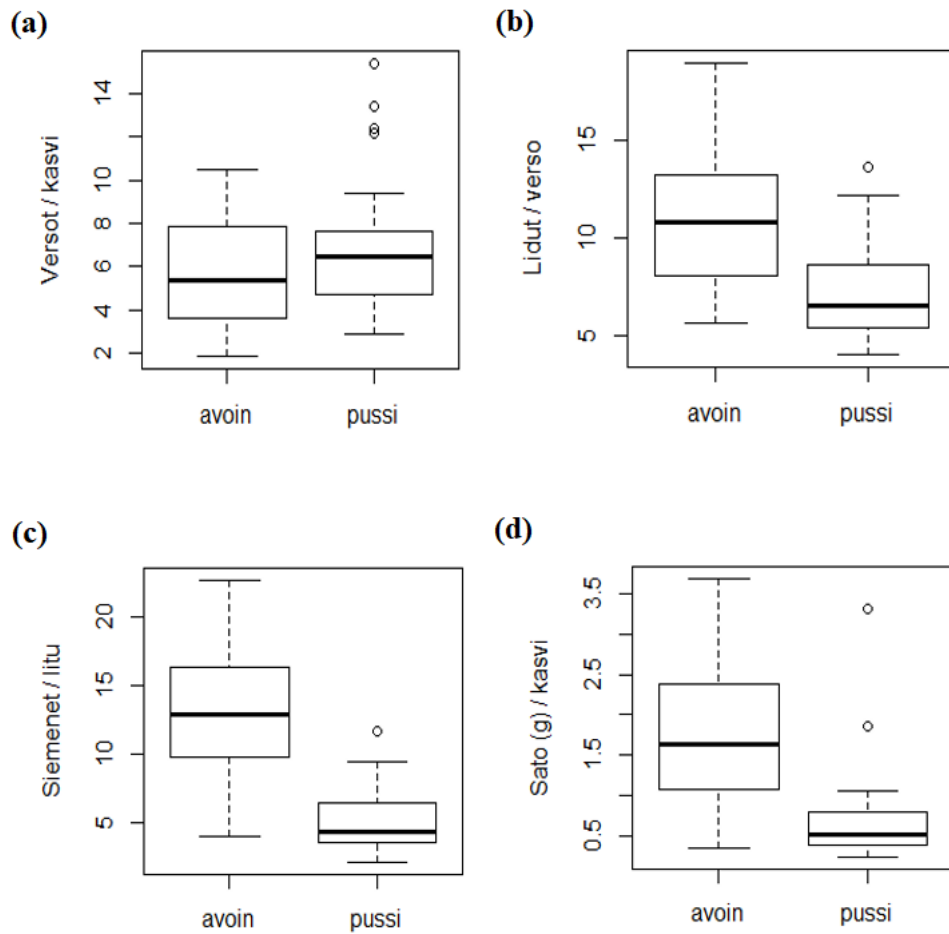
Taulukko 6. Lineaaristen regressioanalyysien tulokset kimalaisten kukkakäyntien vaikutuksesta rypsin satoon.

Satomuuttuja	Estimaatti	Keskivirhe	t-arvo	p-arvo	r ²
Versot/kasvi (kpl)	-0,0086	0,00698	-1,238	0,225	0,05
Lidut/verso (kpl)	-0,0031	0,01015	-0,303	0,764	0,003
Siemenet/litu (kpl)	0,01703	0,0138	1,234	0,226	0,05
Sato/kasvi (g)	-0,0026	0,00268	-0,978	0,335	0,03

*= p < 0,05

3.2. Hyönteispölytyksen estämisen vaikutus rypsin satoon

Kukinnan aina pussitettuna olleet rypsit ja avoimesti pölyttyneet rypsit erosivat tilastollisesti merkitsevästi jokaisen satomuuttujan osalta (Taulukko 7). Avoimesti pölyttyneissä rypseissä havaittiin vähemmän versoja kuin kukinnan aikana pussitettuna olleissa rypseissä (Kuva 3a). Avoimesti pölyttyneissä kasveissa versoja oli keskimäärin 5,7 ja pussitetuissa kasveissa 6,8. Avoimesti pölyttyneissä rypseissä lituja oli enemmän kuin pussitetuissa rypseissä (Kuva 3b). Avoimesti pölyttyneissä kasveissa lituja oli keskimäärin 11 ja pussitetuissa kasveissa 7,2 per verso. Siementen määrä oli huomattavasti suurempi avoimesti pölyttyneissä rypseissä kuin pussitetuissa rypseissä (Kuva 3c). Avoimesti pölyttyneissä kasveissa siemeniä oli keskimäärin 12,7 ja pussitetuissa kasveissa 5,1 litua kohden. Myös kasvikohtainen siemensato erosi avoimesti pölyttyneiden ja pussitettujen rypsin välillä (Kuva 3d). Keskimäärin siemenpaino oli 1,8 g avoimesti pölyttyneissä kasveissa ja 0,69 g pussitetuissa kasveissa.



Kuva 3. (a) Versojen määrä kasveissa, (b) litujen määrä versoissa, (c) siementen määrä liduissa ja (d) kasvikohtainen siemensato avoimesti pölyttyneissä ja kukinnan aikana pussitettuna olleissa rypseissä. Laatikon sisällä oleva viiva kuvaa havaintojen mediaania ja laatikon ylä- ja alapuolella olevat janat vaihteluväliä. Poikkeavat havainnot on kuvattu janojen ulkopuolisilla pisteillä.

Taulukko 7. Parittaisten t-testien tulokset satomuuttujien eroista avoimesti pölyttyneiden ja pussitettujen rypsiä välillä.

Satomuuttuja	df	t-arvo	p-arvo
Versot/kasvi (kpl)	33	-2,8976	0,00663*
Lidut/verso (kpl)	33	5,97	1.054e-06***
Siemenet/litu (kpl)	33	10,149	1.116e-11***
Sato/kasvi (g)	33	7,6085	9.345e-09***

* = $p < 0,05$
*** = $p < 0,001$

4. Tulosten tarkastelu

4.1. Pölyttäjäyhteisön ominaisuuksien vaikutus hyönteispölytykseen

Osalla lohkoista kukkakäyntejä oli suhteellisen vähän, kun taas toisilla lohkoilla kukkakäyntien määrät olivat hyvin korkeita. Rader ym. (2016) ovat todenneet tutkimuksessaan, että pölyttäjien tekemien kukkakäyntien tiheys viljelykasveilla vaihtelee eri pölyttäjälajien välillä. Muut kuin mesipistiäiset kävivät kukissa keskimäärin useammin kuin tarhamehiläiset, vaikkakaan ne eivät siirtäneet siitepölyä yhtä tehokkaasti. Toisaalta Albrecht ym. (2012) totesivat rypsin tavoin ristikukkaisiin kuuluvan retiisin pölytystä selvittäneessä tutkimuksessaan tarhamehiläisten käyneen kukissa noin neljä kertaa useammin kuin erakkomehiläisten tai kukkakärpästen. Myös Varis (1995) havaitsi rypsitutkimuksessaan, että peräti 96 % kukkakäynneistä oli tarhamehiläisten tekemiä. On siis todennäköistä, että rypsin satoon vaikuttavista kukkakäynneistä suurin osa on tarhamehiläisten tekemiä.

On mahdollista, että tarhamehiläisten kukkakäynnit eivät tietyn rajan jälkeen auta kasvattamaan satoa (Rader ym. 2016). Tämä tutkimus tukee ajatusta, sillä tulosten mukaan tarhamehiläisten lisäksi myös kukkakärpäset näyttävät olevan merkittävä rypsin pölyttäjär ryhmä, jonka kukkakäynnit nostavat rypsin litukohtaista siementen määrää. Aiemmassa tutkimuksessa on havaittu, että luonnonvaraiset pölyttäjät pölyttävät viljelykasveja keskimäärin kesyjä pölyttäjiä tehokkaammin (Garibaldi ym. 2013). Tämä selittää sen, että kukkakärpäset nousivat tässä tutkimuksessa merkittäväksi pölyttäjär ryhmäksi huolimatta siitä, että ne tekivät vähemmän kukkakäyntejä kuin tarhamehiläiset. Raderin ym. (2016) mukaan luonnonvaraisten pölyttäjien osuuden kaikista viljelykasvien pölyttäjistä ei tarvitse olla kovin suuri satovaikutuksen saamiseksi, mutta niitä on oltava, jotta pölytys onnistuisi. Lisäksi Rader ym. (2016) havaitsivat, että luonnonvaraisten pölyttäjien tekemät yksittäiset kukkakäynnit näyttävät kasvattavan siementen määrää enemmän kuin tarhamehiläisten yksittäiset kukkakäynnit. Myös tämä on linjassa sen kanssa, että kukkakärpästen kukkakäynneillä oli oman tutkimuksen mukaan positiivinen

vaikutus rypsin siementen määrään litua kohti, vaikka kukkakärpäset tekivät selvästi vähemmän kukkakäyntejä suhteessa tarhamehiläisiin. Huomioitavaa on, että mesipistiäisiin lukeutuvilla kimalaisilla ei todettu merkitsevää yhteyttä yhteenkään satomuuttujaan, vaikka useat muut tutkimukset ovat nostaneet kimalaisen tärkeäksi pölyttäjäryhmäksi (Potts ym. 2010, Rader ym. 2016, Bartomeus & Dicks 2019). Tulosta on vaikea selittää, mutta yksi mahdollisuus on, että kimalaiset muistuttavat pölyttäjinä käyttäytymiseltään ja esiintymiseltään enemmän tarhamehiläisiä kuin kukkakärpäset, eivätkä siksi ehkä täydennä tarhamehiläisten tekemää pölytystyötä yhtä hyvin.

Pölyttäjälajiston monimuotoisuus ei selittänyt rypsin satoa minkään satomuuttujan osalta. On kuitenkin huomattava, että useimpien tutkittujen peltojen läheisyydessä oli mehiläispesiä. Voidaankin pohtia, vievätkö tarhatut mehiläiset tilaa luonnonvaraisilta pölyttäjiltä. Monimuotoinen pölyttäjälajisto vaatii viihtyäkseen myös monimuotoisen kasvilajiston, eikä tässä pro gradu -tutkimuksessa huomioitu maiseman vaikutusta pölyttäjälajistoon. Toivonen ym. (2019) kuitenkin havaitsivat, että pölyttäjien lajirikkaus oli suurempi monimuotoisessa kuin yksipuolisessa maisemassa sijaitsevilla rypsipelloilla. Viljelyalueita ympäröivien luonnontilaisten elinympäristöjen on todettu myös esimerkiksi puskuroivan torjunta-aineiden vaikutusta pölyttäjäpopulaatioihin (Park ym. 2015). Pölyttäjälajiston monipuolisuus on tärkeää, sillä se lisää pölytyspalvelujen pysyvyyttä myös silloin, kun ympäristöolot vaihtelevat (Brittain ym. 2013). Lajirikkaat pölyttäjäyhteisöt voivat tarjota tehokkaamman ja stabiilimman pölytyspalvelun kuin sellaiset lajiköyhät yhteisöt, joissa on vain tarhattuja pölyttäjiä (Pisanty ym. 2015).

Pölyttäjien on todettu myös kompensoivan toisiaan. Samaa tehtävää toteuttavat lajit korvaavat toistensa toimintaa ja esimerkiksi muiden pölyttäjälajien kantojen vaihteluita siten, että ekosysteemin toiminta säilyy ennallaan ja pölytys onnistuu (Blüthgen & Klein 2011). Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että mikäli luonnonvaraisten pölyttäjien populaatio hetkellisesti pienenesi, tarhamehiläiset voisivat kompensoida tämän populaation ja siten myös pölytystehon laskun omalla pölytystoiminnallaan. Ympäristön lämpötila, valon määrä ja kosteus vaikuttavat

pölyttäjien kukkakäyntien määrään (McCall & Primack 1992) samoin kuin vuorokaudenaika (Albrecht ym. 2012, Pisanty ym. 2015), sillä eri pölyttäjälajit eroavat toisistaan sekä fysiologialtaan että käyttäytymiseltään (Blüthgen & Klein 2011). Laaja ja monipuolinen pölyttäjäyhteisö voi siis auttaa tuottamaan korkean, stabiilin sadon sekä lisätä sadon resilienssiä ympäristön muutoksia kohtaan. Tällaisten vaikutusten havaitsemiseksi tarvittaisiin kuitenkin useampivuotista tutkimusta.

Tutkimuksessani pölyttäjiä tarkkailtiin viiden minuutin ajan kolme kertaa rypsin kukinnan aikana neljällä ruudulla per lohko. Tämä tarkoittaa, että kullakin rypsilohkolla pölyttäjiä tarkkailtiin yhteensä 60 minuuttia. Saadut tulokset olisivat saattaneet olla erilaisia, jos pölyttäjiä olisi tarkkailtu pidempiä aikoja kerrallaan ja useampaan otteeseen. Pölyttäjien kukkakäyntien määrään vaikuttavat muun muassa vuorokaudenaika sekä tarkkailtavan lohkon sijainti pellolla (Pisanty & Mandelik 2015). Tutkimuksessani tarkkailu sijoitettiin aikavälille klo 9–18, mutta tarkkailu olisi voitu jaksottaa esimerkiksi aamuun, päivään ja iltaan. Tarkkailu myös suoritettiin rypsin kukinnan ollessa melko runsasta, jolloin Pisantyn & Mandelikin (2015) mukaan tarhamehiläiset ovat vallitseva pölytysryhmä, aivan kuten omassa tutkimuksessanikin.

Tarhamehiläiset ovat pölyttäjäryhmistä kaikkein tutkituin (Jauker & Wolters 2008). Olisikin tärkeää saada enemmän tietoa myös luonnonvaraisten pölyttäjien merkityksestä pölytyksessä. Kukkakärpästen pölytystehokkuutta on tutkittu yleisellä viljelykasvilla rapsilla, ja kukkakärpästen on todettu lisäävän siementen muodostumista sekä parantavan satoa (Jauker & Wolters 2008). Kukkakärpäset ovat luotettavia pölyttäjiä, sillä ne kestävät hyvin vaihtelevia säätiloja, kuten tuulen vaihtelua (Jauker & Wolters 2008). Suomen kesät ovat usein sään suhteen epävakaita, minkä takia kukkakärpästen osuutta pölytyksessä Suomen olosuhteissa olisi mielenkiintoista tutkia lisää.

4.2. Muita hyönteispölytykseen vaikuttavia tekijöitä

Satoon ja sadosta saatavaan tuottoon vaikuttavat monet tekijät, joiden vaihtelun takia yksittäinen tutkimustulos on huonosti yleistettävissä. Vaikka tässä tutkimuksessa siementen määrä lидуissa lisääntyi kukkakäyntien lisääntyessä, tutkimuksessa ei otettu huomioon esim. torjunta-aineiden, maaperän rakenteen tai lannoitteiden mahdollista vaikutusta satomuuttujiin. Näin ollen pääasiallista satoon vaikuttavaa tekijää ei voida tämän tutkimuksen perusteella varmuudella tunnistaa. Tutkimukseni osoittaa kiistatta, että pölyttäjien kukkakäynneillä on vaikutusta rypsin tuottamaan satoon, mutta ei suoraan kerro, miten pölyttäjien kukkakäyntien perusteella voisi luotettavasti ennustaa kokonaissatoa, sillä siihen vaikuttavat monet muutkin tekijät kuin pölytys.

Vaikka omassa työssäni ei keskitytty tarkastelemaan esimerkiksi maaperän rakenteen tai torjunta-aineiden vaikutuksia satoihin, aiemman tutkimuksen valossa näillä tekijöillä on merkitystä (Bartomeus ym. 2015). Pölyttäjien kukkakäynneillä ja kasvien torjunta-ainepitoisuuksilla on todettu negatiivinen yhteys, eli mitä enemmän torjunta-aineita pellolla on käytetty, sitä vähemmän pölyttäjät vierailevat viljelykasvien kukissa (Bartomeus ym. 2015). Tämä saattaa johtua joko pölyttäjien määrän vähenemisestä maisemassa torjunta-ainealtistuksen takia tai siitä, että torjunta-aine tekee kasvista vähemmän houkuttelevan maisemassa eläville pölyttäjille. Toisaalta torjunta-aineiden käyttö voi nostaa satoa pienentämällä kasvintuhoojien aiheuttamia satotappioita, vaikka sen vaikutus pölyttäjiin olisi samanaikaisesti negatiivinen (Toivonen ym. 2019). Myös muut viljelytoimenpiteet ja maaperän ominaisuudet kuten pellon ravinnepitoisuus vaikuttavat kasvien kasvuun ja siten satoon sekä pölytyksestä irrallaan että yhteisvaikutuksessa pölytyksen kanssa (Marini ym. 2015). Kasvit pyrkivät kompensoimaan heikkoa pölytystä pidentämällä kukintaa (Toivonen ym. 2019), mutta tämä vaatii lisää ravinteita, vettä, valoa ja lämpöä. Kun pölytys on tehokasta, kasvilla ei kulu resursseja ylimääräisten kukkien tuottamiseen. Niinpä hyvässä pölytystilanteessa voidaan periaatteessa vähäravinteisemmalla maalla saavuttaa yhtä suuri sato kuin heikommassa pölytystilanteessa ravinteikkaammalla maalla.

4.3. Avoimen ja estetyn pölytyksen välisiä eroja

Tutkimukseni osoittaa selvästi, että rypsi tarvitsee hyönteispölytystä tuottaakseen korkean sadon ja hyvänlaatuisia siemeniä. van Treurenin ym. (1993) mukaan ristipölytyksen tuloksena kehittyvät siemenet ovat kooltaan suurempia kuin itsepölytyksen seurauksena syntyneet siemenet. Zou ym. (2017) tutkivat pölytyksen vaikutusta rapsiin pölytyksen estokokeella, eli samalla metodilla kuin itse tutkin rypsin pölytystä omassa tutkimuksessani. Zoun ym. (2017) tutkimuksessa avoimesti pölyttyneet rapsit tuottivat enemmän siemeniä kuin pussitetut rapsit. Tämä rapsin kohdalla saatu tulos on linjassa oman rypsiä koskevan tulokseni kanssa. Toisaalta Zou ym. (2017) huomasivat pussitettujen rapsien kompensoivan pölytyksen puutetta tuottamalla painavampia siemeniä. Kyseisen tutkimuksen mukaan luonnonvaraisten pölyttäjien runsaus ja monimuotoisuus edesauttavat rapsin sadontuottoa saamalla kasvin ohjaamaan resurssejaan ennemmin siemeniin kuin maanpäälliseen biomassaan. Omassa tutkimuksessani ei havaittu, että pussitetut rypsit olisivat tuottaneet suurempia siemeniä kuin avoimesti pölyttyneet kasvit, mutta sen sijaan ne tuottivat enemmän kukintoversoja, mikä kertoo kasvin yrityksestä kompensoida heikkoa pölytystä kukintaa jatkamalla. Tutkimuksessani avoimesti pölyttyneiden rypsin kasvikohtainen siemensato oli painoltaan jopa kaksinkertainen suhteessa pussitettuihin kasveihin.

Asetelmaltaan vastaava pölytyksenestokoe on tehty myös viljelyolosuhteissaan suuresti Suomesta poikkeavassa Burkina Fasossa, jossa tärkeitä sikäläisiä viljelykasveja, puuvillaa ja seesamia, peitettiin harsoilla (Stein ym. 2017). Luonnonvaraiset pölyttäjät yhdessä tarhattujen mehiläisten kanssa lisäsivät sadon määrää ja laatua huomattavasti, kun taas ristipölytyksen estäminen vähensi satoa. Tämä tulos korostaa jälleen monipuolisen pölyttäjälajiston merkittävyyttä pölytystä parantavana tekijänä ja samalla tukee ajatusta, että pölyttäjälajiston monipuolisuus on tärkeä satoa selittävä tekijä hyvin erilaisissa ekosysteemeissä ja viljelyolosuhteissa.

4.4. Tutkimuksen merkitys ja epävarmuustekijät

Kenttätutkimuksen tekeminen on luonteeltaan sellaista, että monien eri tekijöiden vaihtelu voi aiheuttaa epävarmuutta tuloksiin ja niiden yleistettävyyteen. Aineiston kerääminen ja käsittely tapahtuu monen ihmisen yhteistyönä, mikä lisää mittausvirheiden mahdollisuutta aineistossa.

Kuten jo edellä on tuotu esille, myös esimerkiksi torjunta-aineet, lannoitteet, maaperä, ympäröivä maisema, säätekijät ja ilmasto näyttävät kirjallisuuden valossa vaikuttavan viljelykasvien satoihin. Tämänkin tutkimuksen rypsilohkoilla tehtiin erilaisia viljelytoimenpiteitä, ja ne sijaitsivat erilaisissa maisemissa, millä oli vaikutusta havaittujen kukkakäyntien määrään ja rypsin kokonaissatoon (Toivonen ym. 2019). Näitä asioita ei kuitenkaan otettu tässä pro gradu -tutkimuksessa huomioon vaan keskityttiin siihen, kuinka havaittujen kukkakäyntien määrä oli yhteydessä erilaisiin satomuuttujiin.

Tutkimukseni tuloksia voidaan mahdollisista epävarmuustekijöistä huolimatta hyödyntää esimerkiksi ravinnontuotannon toteuttamisen suunnittelussa tulevaisuudessa siten, että viljelykasvien tuottoa pyritään optimoimaan parhaalla mahdollisella pölyttäjyhteisön rakenteella. Viljelykasvien satoa on tärkeää optimoida, jotta ravinnontuotannon haasteisiin voidaan vastata samalla, kun tuotantoon käytettävissä olevat luonnonvarat niukkenevat. Ihmiskunnan määrä kasvaa koko ajan, jolloin sekä ravinnon laadulla että määrällä on väliä. Satojen heikentyminen vaikuttaa myös talouteen, jolloin sekä kuluttajat että tuottajat joutuvat maksamaan pölytysvajeesta.

Tutkimukseni tarjoaa tärkeää ja kiinnostavaa uutta tietoa viljelykasvien pölytyksestä ja pölytykseen vaikuttavista tekijöistä Suomessa. Rypsin pölytyksestä ei ole ennestään tehty kovin kattavaa tutkimusta, sillä sen viljeleminen maailmanlaajuisesti on suhteellisen harvinaista. Suomessa rypsi on kuitenkin merkittävä viljelykasvi. Tutkimukseni tuottaa uutta tietoa suhteellisen vähän

tutkitusta aiheesta ja auttaa rikastuttamaan erityisesti Suomen oloissa viljeltävien kasvien sadontuottoon vaikuttavista tekijöistä tuotetun tiedon kirjoa.

4.5. Jatkotutkimuksia

Luonnonvaraisten pölyttäjien pölytystehokkuuden tutkiminen olisi kiinnostava tulokulma jatkotutkimukseen. Lisää ymmärrystä voitaisiin tuottaa esimerkiksi luonnonvaraisten pölyttäjien käyttäytymisestä viljelykasveilla ja kukkakäyntikohtaisesta vaikutuksesta viljelykasvien siementen ja hedelmien kehittymiseen. Monilajisten pölyttäjäyhteisöjen sisällä tapahtuvaa lajienvälistä pölytystoiminnan kompensatiota eli komplementaarisuutta on tutkittu lähinnä kukkakäyntien määrän ja pölyttäjien runsauden näkökulmasta. Kuitenkin myös kukkakäyntikohtainen pölytystehokkuus voi vaikuttaa pölyttäjien toteuttamaan pölytyspalveluun suurestikin. Tämä näkökulma pölytykseen vaatii ehdottomasti lisää tutkimusta.

Vaikka tiedetään, että pölytyksen merkitys viljelykasveille on hyvin suuri, monen viljelykasvin pölytykseen liittyy vielä monia epäselvyyksiä. Esimerkiksi pölyttäjälajien kirjon, yksilömäärän tai pölytykseen vaikuttavan eliöyhteisön koostumuksen yhteys sadon määrään ja laatuun monilla kansallisesti tai paikallisesti tärkeillä kasveilla on hämärän peitossa (Potts ym. 2010). Tärkeää olisi miettiä myös sitä, miten erilaiset ympäristötekijät, kuten kasvinsuojeluaineet tai maankäytön muutokset vaikuttavat luonnonvaraisiin pölyttäjiin, niiden tuottamaan pölytyspalveluun ja viljelykasvien satoon. Luonnonvaraisten pölyttäjien voinnista tiedetään vähän. Esimerkiksi Suomessa kansallista kimalaisseurantaa ollaan vasta aloittamassa (Suomen ympäristökeskus 2019).

5. Johtopäätökset

Hyönteispölytys vaikuttaa rypsin satoon kuten oletettiin. Tämän tutkimuksen mukaan kukkakäynnit vähensivät versojen määrää ja lisäsivät siementen määrää lидуissa, mikä on tärkeä havainto kasvinviljelyn ja siten ravinnontuotannon kannalta. Kukkakäyntejä tekivät erityisesti tarhamehiläiset, mutta myös kukkakärpäset osoittautuivat merkittäväksi pölyttäjärühmäksi, ja luonnonvaraisia pölyttäjiä tuleekin tutkia lisää. Onnistunut pölytys mahdollistaa sen, että viljelykasvi pystyy käyttämään resurssinsa tehokkaasti. Tämä näkyi pölytyskokeesta, sillä jokainen satomuuttuja osoitti rypsin hyötyneen ristipölytyksestä. Monipuolinen ympäristö lisää pölyttäjien määrää pelloilla, minkä vuoksi erilaisten kasvien viljely sekä pölyttäjien pesäpaikkojen ja ravinnonsaannin turvaaminen on tärkeää.

6. Kiitokset

Kiitän professori Irina Herzonian ja dosentti Marjaana Toivosta mielenkiintoisesta graduaiheesta. Kiitän myös Suomen ympäristökeskuksen hanketta ”Viljelykasvien pölytys Suomessa (2017-2021)” tutkimusaineiston tarjoamisesta. Pölyttäjät ja ruokaturva ovat kiinnostaneet minua opintojeni alusta lähtien, eikä kiinnostus pölyttäjiin suinkaan loppunut tähän. Kiitos molemmille ohjaajilleni tehokkaasta mutta lämpimästä kohtaamisesta graduprosessin aikana. Ajanjakso oli pitkä ja stressaava – niin kuin kuuluukin, mutta myös haastoi minua opiskelijana juuri oikealla tavalla. On palkitsevaa olla osa tiedeyhteisöä tämän gradun avulla. Minulla on nyt hyvä pohja tarkastella alani ilmiöitä tieteellisestä näkökulmasta.

Lämmin kiitos myös lähipiirille lehmänhermoista ja eteenpäin vievästä otteesta. Gradua oli mukava tehdä teidän ansiostanne. Erityiskiitos äidille, Annikalle, Sarlotalle, Johannekselle ja Tuomakselle sekä tieteellisestä että henkisestä tuesta viimeisten viikkojen aikana, olitte korvaamaton apu! Lopuksi haluan kiittää vielä

kaikkia pölyttäjiä, jotka osallistuivat tutkimukseeni. Yhtäkään pölyttäjää ei vahingoitettu tieteen nimissä eikä myöskään muuten.

Lähteet

- Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., Cunningham, S. A. & Klein, A. M. 2009: How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. — *Annals of Botany* 103: 1579–1588.
- Aizen, M. A., Aguiar, S., Biesmeijer, J. C., Garibaldi, L. A., Inouye, D. W. ym. 2019: Global agricultural productivity is threatened by increasing pollinator dependence without a parallel increase in crop diversification. — *Global Change Biology* 25(10): 3516–3527.
- Albrecht, M., Schmid, B., Hautier, Y. & Müller, C. B. 2012: Diverse pollinator communities enhance plant reproductive success. — *Proc Roy Soc B: Biological Sciences* 279(1748): 4845–4852.
- Arce, A. N., David, T. I., Randall, E. L., Rodrigues, A. R., Colgan, T. J., Wurm, Y. & Gill, R.J. 2017: Impact of controlled neonicotinoid exposure on bumblebees in a realistic field setting. — *Journal of Applied Ecology* 54: 1199–1208.
- Bartomeus, I., Gagic, V. & Bommarco, R. 2015: Pollinators, pests and soil properties interactively shape oilseed rape yield. — *Basic and Applied Ecology* 16(8): 737–745.
- Bartomeus, I. & Dicks, L. V. 2019: The need for coordinated transdisciplinary research infrastructures for pollinator conservation and crop pollination resilience. — *Environmental Research Letters* 14 (4).
- Biesmeijer, J. C., Roberts, S. P. M., Reemer, M., Ohlemüller, R. Edwards, M. ym. 2006: Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands. — *Science* 21(313): 351–354.
- Blüthgen, N. & Klein, A.-M. 2011: Functional complementarity and specialisation: The role of biodiversity in plant-pollinator interactions. — *Basic and Applied Ecology* 12: 282–291.
- Bommarco, R., Kleijn, D. & Potts, S. G. 2013: Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security. — *Trends in Ecology and Evolution* 28: 230–238.
- Brittain, C., Kremen, C. & Klein, A.-M. 2013: Biodiversity buffers pollination from changes in environmental conditions. — *Global Change Biology* 19(2): 540–547.
- Brosi, B. J. & Briggs, H. M. 2013: Single pollinator species losses reduce floral fidelity and plant reproductive function. — *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110: 13044–13048.
- Brunel, E., Mesquida, J., Renard, M. & Tanguy, X. 1994: Répartition de l'entomofaune pollinisatrice sur des fleurs de colza (*Brassica napus* L) et de navette (*Brassica campestris* L): Incidence du caractère apétale de la navette. — *Apidologie* 25: 12–20.

- Chaplin-Kramer, R., Dombeck, E., Gerber, J., Knuth, K. A., Mueller, N. D., Mueller, M., Ziv, G. & Klein, A.-M. 2014: Global malnutrition overlaps with pollinator-dependent micronutrient production. — *Proc Roy Soc B. Biological Sciences* 281.
- Dicks, L., Viana, B., Bommarco, R., Brosi, B., Arizmendi, M., Cunningham, S., Galetto, L. ym. 2016: Ten policies for pollinators. — *Science* 354: 975–976.
- Eilers, E. J., Kremen, C., Smith Greenleaf, S., Garber, A. K. & Klein, A.-M. 2011: Contribution of Pollinator-Mediated Crops to Nutrients in the Human Food Supply. — *PLoS ONE* 6(6): e21363.
- Elberling, H. & Olesen, J. M. 1999: The structure of a high latitude plant-flower visitor system: the dominance of flies. — *Ecography* 22: 314–323.
- Gabriel, D. & Tscharntke, T. 2007: Insect pollinated plants benefit from organic farming. — *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118: 43–48.
- Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J. & Vaissière, B. E. 2009: Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. — *Ecological Economics* 68(3): 810–821.
- Garibaldi, L. A., Aizen, M. A., Cunningham, S. & Klein, A. M. 2009: Pollinator shortage and global crop yield. — *Communicative & Integrative Biology* 2(1): 37–39.
- Garibaldi, L., Aizen, M. A., Klein, A. M., Cunningham, S. A. & Harder, L. D. 2011: Global growth and stability of agricultural yield decrease with pollinator dependence. — *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108: 5909–5914.
- Garibaldi L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M. A., Bommarco, R., Cunningham, S. A., Kremen, C. ym. 2013: Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance. — *Science* 29(339): 1608–1611.
- Godfray, H. C. J., Blacquière, T., Field, L. M., Hails, R. S., Potts, S. G., Raine, N.E., Vanbergen, A.J. & McLean, A. R. 2015: A restatement of recent advances in the natural science evidence base concerning neonicotinoid insecticides and insect pollinators. — *Proc Roy Soc B: Biological Sciences* 282(1818).
- Goulson, D., Lye, G. C. & Darvill, B. 2008: Decline and Conservation of Bumble Bees. — *Annual Review of Entomology* 53: 191–208.
- Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C. & Rotheray, E. L. 2015: Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. — *Science* 27 (347).
- Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H. ym. 2017: More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. — *PLoS ONE* 12(10): e0185809.
- Hegland, S. J., Nielsen, A., Lázaro, A., Bjerknes, A. L. & Totland, Ø. 2009: How does climate warming affect plant–pollinator interactions? — *Ecology Letters* 12: 184–195.
- Hendrickx, F., Maelfait, J.-P., van Wingerden, W., Schweiger, O., Speelmans, M. ym. 2007: How landscape structure, land-use intensity and habitat diversity affect components of total arthropod diversity in agricultural landscapes. — *Journal of Applied Ecology* 44(2): 340–51.

- Hokkanen, H. M. T., Menzler-Hokkanen, I., & Keva, M. 2017: Long-term yield trends of insect-pollinated crops vary regionally and are linked to neonicotinoid use, landscape complexity, and availability of pollinators. — *Arthropod-Plant Interaction* 11: 449–461.
- Hokkanen, H. M. T., Menzler-Hokkanen, I., & Hokkanen, S. R. K. 2018: Mitä tapahtuu, jos pölyttäjät katoavat? — *Duodecim* 134: 1341–1344.
- Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I. & Tscharntke, T. 2008: Agricultural landscapes with organic crops support higher pollinator diversity. — *Oikos* 117(3): 354–361.
- Hämet-Ahti, I., Suominen, J., Ulvinen, T., Uotila, P. & Vuokko, S. 1986: *Retkeilykasvio*. — Suomen Luonnonsuojelun Tuki Oy. 3. uudistettu painos. Hki. 598 s.
- IPBES. 2016: The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. — Potts, S.G., Imperatriz-Fonseca, V.L. & Ngo, H.T. (toim.). *Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn, Germany. 552 s.
- Jauker, F. & Wolters, V. 2008: Hover flies are efficient pollinators of oilseed rape. — *Oecologia* 56(4): 819–23.
- Jönsson, A. M., Ekroos, J., Dänhardt, J., Andersson, G. K. S., Olsson, O & Smith, H. G. 2015: Sown flower strips in southern Sweden increase abundances of wild bees and hoverflies in the wider landscape. — *Biological Conservation* 184(0): 51–58.
- Kennedy, C. M., Lonsdorf, E., Neel, M. C., Williams, N. M., Ricketts, T. H., Winfree, R., Bommarco, R. ym. 2013: A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. — *Ecology Letters* 16: 584–599.
- Ketola, J., Hakala, K., Ruottinen, L., Ojanen, H., Rämö, S., Jauhiainen, L. ym. 2015: *The impact of the use of neonicotinoid insecticides on honey bees in the cultivation of spring oilseed crops in Finland in 2013–2015*. — Natural resources and bioeconomy studies 73. Helsinki, Luonnonvarakeskus.
- Kevan, P. G. & Baker, H. G. 1983: Insects as flower visitors and pollinators. — *Annual Review of Entomology* 28: 407–453.
- Klein, A. M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C. & Tscharntke, T. 2007: Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. — *Proc Roy Soc B: Biological Sciences* 274: 303–313.
- Körösi, Á., Markó, V., Kovács-Hostyánszki, A., Somay, L., Varga, Á., Elek, Z. ym. 2018: Climate-induced phenological shift of apple trees has diverse effects on pollinators, herbivores and natural enemies. — *PeerJ* 6: e5269.
- Korpela, S. 1988: The influence of honeybee pollination on turnip rape (*Brassica campestris*) yield and yield components. — *Annales Agriculturae Fenniae* 27: 295–303.
- Kovács-Hostyánszki, A., Espíndola, A., Vanbergen, A., Settele, J., Kremen, C. & Dicks, L.V. 2017: Ecological intensification to mitigate impacts of conventional intensive land use on pollinators and pollination. — *Ecology Letters* 20: 673–689.

- Larson, B. M. H., Kevan, P. G. & Inouye, D. W. 2001: Flies and flowers: taxonomic diversity of anthophiles and pollinators. — *The Canadian Entomologist* 133: 439–465.
- Lautenbach, S., Seppelt, R., Liebscher, J. & Dormann, C. F. 2012: Spatial and Temporal Trends of Global Pollination Benefit. — *PLoS ONE* 7: e35954
- Luonnonvarakeskus. 2019: Käytössä oleva maatalousmaa 2019, ennakko.
https://stat.luke.fi/k%C3%A4yt%C3%B6ss%C3%A4-oleva-maatalousmaa-2019-ennakko_f (luettu 23.4.2020)
- Marini, L., Tamburini, G., Petrucco-Toffolo, E., Lindström, S. A., Zanetti, F., Mosca, G. ym. 2015: Crop management modifies the benefits of insect pollination in oilseed rape. — *Agriculture, Ecosystems and Environment* 207: 61–66.
- McCall, C. & Primack, R. B. 1992: Influence of flower characteristics, weather, time of day, and season on insect visitation rates in three plant communities. — *American Journal of Botany* 79(4): 434–442.
- Memmott, J., Craze, P. G., Waser, N. M. & Price, M. V. 2007: Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions. — *Ecology Letters* 10: 710–717.
- Park, M. G., Blitzer, E. J., Gibbs, J., Losey, J. E. & Danforth, B. N. 2015: Negative effects of pesticides on wild bee communities can be buffered by landscape context. — *Proc Roy Soc B: Biological Sciences* 282(1809).
- Pisanty, G., Afik, O., Wajnberg, E., Mandelik, Y. & Diekötter, T. 2015: Watermelon pollinators exhibit complementarity in both visitation rate and single-visit pollination efficiency. — *Journal of Applied Ecology* 53: 360–370.
- Pisanty, G. & Mandelik, Y. 2015: Profiling crop pollinators: Life history traits predict habitat use and crop visitation by Mediterranean wild bees. — *Ecological Applications* 25(3): 742–752.
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O. & Kunin, W. E. 2010: Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. — *Trends in Ecology & Evolution* 25 (6): 345–353.
- Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C. ym. 2016: Safeguarding pollinators and their values to human well-being. — *Nature* 540: 220–229.
- Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L. A., Garratt, M. P. D., Howlett, B. G., Winfree, R. ym. 2016: Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. — *PNAS* 113(1): 146–151.
- Redhead, J. W., Dreier, S., Bourke, A. F. G., Heard, M. S., Jordan, W. C., Sumner, S. ym. 2016: Effects of habitat composition and landscape structure on worker foraging distances of five bumble bee species. — *Ecological Applications* 26: 726–739.
- Rundlöf, M., Andersson, G. K., Bommarco, R., Fries, I., Hederström, V. ym. 2015: Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. — *Nature* 521: 77–80.

- Stein, K., Coulibaly, D., Stenchly, K., Goetze, D., Porembski, S. ym. 2017: Bee pollination increases yield quantity and quality of cash crops in Burkina Faso, West Africa. — *Scientific Reports* (7): 17691.
- Stout, J. C. & Morales, C. L. 2009: Ecological impacts of invasive alien species on bees. — *Apidologie* 40: 388–409.
- Svensson, B., Lagerlof, J. & Svensson, B. G. 2000: Habitat preferences of nest-seeking bumble bees (Hymenoptera: Apidae) in an agricultural landscape. — *Agriculture, Ecosystems and Environment* 77: 247–255.
- Suomen ympäristökeskus. 2019: Maailman pölyttäjäpäivä 20.5. ja kimalaisten seuranta käynnistynyt [.https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Maailman_polyttajapaiva_205_ja_kimalaist\(50304\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Maailman_polyttajapaiva_205_ja_kimalaist(50304)) (luettu 27.4.2020)
- Thakur, M. 2012: Bees as Pollinators – Biodiversity and Conversation. — *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science* 2(1): 001–007.
- Toivonen, M., Herzon, I., Rajanen, H., Toikkanen, J. & Kuussaari, M. 2019: Late flowering time enhances insect pollination of turnip rape. — *Journal of Applied Ecology* 00: 1–12.
- van Swaay, C., van Strien, A., Harpke, A., Fontaine, B., Stefanescu, C. ym. 2013: *The European grassland butterfly indicator: 1990–2011*. — EEA Technical Reports. 11.
- van Treuren, R., Bulsma, R., Ouborg, J. N. & van Delden, W. 1993: The significance of genetic erosion in the process of extinction. IV. Inbreeding depression and heterosis effects caused by selfing and outcrossing in *Scabiosa columbaria*. — *Evolution* 47: 1669–1680
- Varis, A-L. 1995: Abundance, species composition and daily pattern of bees visiting field bean, goat's rue and turnip rape in southern Finland. — *Agricultural Science in Finland* 4: 473–478.
- Williams, I. H. 1978: The pollination requirements of swede rape (*Brassica napus* L.) and of turnip rape (*Brassica campestris* L.). — *The Journal of Agricultural Science* 91: 343–348.
- Winfree, R., Aguilar, R., Vázquez, D. P., LeBuhn, G. & Aizen, M. A. 2009: A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. — *Ecology* 90(8): 2068–2076.
- Zou, Y., Xiao, H., Bianchi, F. J. J. A., Jauker, F., Luo, S. & van der Werf, W. 2017: Wild pollinators enhance oilseed rape yield in small-holder farming systems in China. — *BMC Ecology* 17(6).